

prof. dr hab. Paweł M. Rowiński, czuł. rzecz. PAN
Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk

Warszawa, 30.01. 2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Sobczaka

p.t.

Dynamika rumowiska niejednorodnego granulometrycznie w warunkach przepływu z ruchomą warstwą nachylonego dna.

Niniejsza recenzja została sporządzona na zlecenie prof. dr hab. Waldemara Świdzińskiego, Dyrektora Instytutu Budownictwa Wodnego PAN z dn. 2.12.2021 r. Rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Sobczaka dotyczy modelowania transportu rumowiska w kanałach otwartych. Autor omawia zarówno badania dotyczące samego modelowania, jak i prace eksperymentalne, służące weryfikacji modelu. Praca powstawała przez bardzo długi okres, pierwsze wyniki, będące częścią tej rozprawy doktorskiej, uzyskano przed wielu laty – przytaczane pomiary na Wiśle były już opracowane w formie publikacji w 2003 r. Tak długi czas przygotowania pracy skutkuje sporą dojrzałością badawczą doktoranta, wyczuwalne jest też duże doświadczenie, wynikające z prac przy konkretnych realizacjach inżynierskich.

Opiniowana rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, wykazu symboli i oznaczeń stosowanych w pracy oraz spisu literatury. Układ pracy wydaje się logiczny i spójny, chociaż wyraźne brakuje w niej streszczeń w języku polskim i angielskim, co jest powszechną praktyką w opracowaniach doktorskich.

Wstęp (rozdział 1), zatytułowany „Praktyczne aspekty modelowania transportu rumowiska” stanowi w istocie motywację podjętych badań. Autor, podając kilka praktycznych przykładów, przekonuje czytelnika, dlaczego jest to zagadnienie ważne nie tylko ze względów poznawczych, ale również użytecznych. Doktorant podsumowuje swoje rozważania pisząc o potrzebie szukania uniwersalnego modelu, opartego na bardziej zaawansowanym opisie matematycznym i dającym bardziej wiarygodne wyniki (rozumiejąc, że bardziej aniżeli dostępne w chwili obecnej).

W rozdziale 2 Doktorant przedstawia przegląd literatury dotyczący modelowania transportu rumowiska jednorodnego, jak i niejednorodnego granulometrycznie. Opis ten - w swojej logice - ma pokazać, że „na górze” tego drzewa rozwojowego modeli transportu rumowiska jest trójwarstwowy model transportu osadów zaproponowany i rozwijany przez uczniów i współpracowników prof. Leszka Kaczmarka. Takie rozumowanie wydaje się mocno przesadzone. Z wielkim zainteresowaniem obserwuję i bardzo doceniam rozwój i znaczenie tego modelu, ale bez wątplenia w większości ośrodków badawczych na świecie stan zrozumienia rozwoju modeli matematycznych transportu rumowiska jest zupełnie inny i niestety dość próżno szukać w monografiach tematu przywołań tego konkretnego modelu. Zresztą w przeglądzie literatury doktoranta brakuje odniesień do niektórych, najnowszych opracowań monograficznych i przeglądowych dotyczących modelowania transportu rumowiska (przykładowo brakuje tam obszernej monografii Deyna z 2014 r.). Choć zrozumiałe jest przekonanie Doktoranta, że zastosowany przez Niego model jest najlepszy, to oczekiwałbym trochę bardziej krytycznego spojrzenia w kontekście światowych osiągnięć w tym zakresie.

W rozdziale 3 Autor w sposób zwięzły, ale i precyzyjny formułuje tezy i określa cel pracy, podaje również jej zakres. Wydaje się niestety, że określony cel podany jest nieco na wyrost. Autor twierdzi, że celem pracy jest opracowanie i weryfikacja teoretycznego modelu pionowej struktury transportu i segregacji osadów. W moim przekonaniu Autor nie opracowuje nowego modelu, jedynie modyfikuje/adaptuje model zaproponowany przez swojego Promotora. Gdyby prawdą było, że jest to opracowanie nowego modelu, oczekiwalibyśmy dokładnej analizy poprawności zagadnienia początkowo-brzegowego, również analizy zastosowanej metody numerycznej itd. Praca dotyczy zatem jedynie modyfikacji i weryfikacji istniejącego modelu i naszą rolą (recenzentów) jest ocena czy wkład Autora w rozwój tego modelu jest wystarczający do spełnienia warunków do uzyskania stopnia doktora. Zresztą zadanie okazuje się trudne, bo z tekstu często dość trudno jest wywnioskować, co jest indywidualnym wkładem Autora w poszczególne wyniki pracy.

W rozdziale 4 Doktorant omawia stosowany przez Niego wielowarstwowy model transportu rumowiska w kanałach otwartych. Podrozdział 4.1 poświęcił omówieniu naprężeń stycznych, które traktuje jako „siła sprawcza” ruchu rumowiska. Definiuje tam uśrednione (choć Autor nie napisał wprost, że są to wartości uśrednione) naprężenia styczne. Warto nadmienić, że sprawa wyznaczania naprężeń stycznych w kanałach otwartych (szczególnie jej lokalnych wartości) jest przedmiotem wielu obszernych opracowań – szkoda, że Doktorant się do nich nie odniósł. Autor pracy podaje sposób wyznaczania uśrednionej prędkości

dynamicznej między dwoma przekrojami – wzór 4. Natomiast trzeba pamiętać, że w literaturze tematu istnieją dyskusje na temat sposobu i dokładności wyznaczania tej prędkości przy znajomości danych w więcej niż dwóch przekrojach poprzecznych. Często występuje kłopot z błędem obliczeń przy wyznaczaniu gradientów prędkości i głębokości w ruchu nieustalonym, chociaż w przypadku ruchu wolnozmiennego można założyć, że wzór 4 jest poprawny. Podrozdział 4.2 jest w istocie opisem (własnymi słowami) wielowarstwowego modelu, wprowadzonego do literatury przez prof. Kaczmarka. Analiza równań, argumentacja za przyjęciem niektórych parametrów modelu, jest zaczerpnięta z różnych prac Kaczmarka i Jego współpracowników. W tych opisach znalazły się pewne lapsusy językowe, np. na str. 31 Autor mówi o „przeważającej większości głębokości”. Na stronie 32 omawia iteracyjny sposób wyznaczania dwóch parametrów α_c i β_c po czym uznaje, że oba parametry są równe. Dość niezręcznie zapisane są kluczowe równania (10) i (11). W tym samym równaniu pochodna du_{ce}/dz jest raz przedstawiona jak pochodna zwyczajna, a raz jako pochodna cząstkowa. Równania sprawiają wrażenie równań różniczkowych cząstkowych, ale tak naprawdę, są to równania różniczkowe zwyczajne (jeśli dobrze zrozumiałem?). A może w zapisie tych równań chodzi o pochodną substancjalną? Wymaga to wyjaśnienia, bo jest to zapis bardzo niejasny. Równania mają charakter nieliniowy, zatem wypada wspomnieć coś o sposobie ich rozwiązania. Autor, bowiem, dość szybko przechodzi do przedstawienia samych rozwiązań. Zakładam, że dlatego, iż korzysta już z gotowego/istniejącego pakietu - byłaby to kolejna przesłanka do tego, że nie opracował modelu a jedynie zmodyfikował istniejący. Autor wprawdzie wspomina, że układ równań (10) i (11) rozwiązał metodą iteracyjną, ale jest to informacja daleko nie wystarczająca. Myślę, że podczas publicznej obrony Doktorant powinien krótko objaśnić tę metodę.

Z dużym zainteresowaniem przeczytałem podrozdział 4.2.3 o na prężeniach stycznych i efekcie ruchomego dna. Pragnę tu podkreślić precyzyjny język i dobrze opracowane opisy i interpretacje fizyczne. Mam jednak pewien kłopot z następującym rozumowaniem Doktoranta. Autor buduje pewnego rodzaju narrację, że konstruowany trójwarstwowy model (lub raczej modele) jest alternatywą dla powszechnie przyjmowanych formuł empirycznych, bowiem jest oparty na prawach fizyki. W modelu zastosowano pionowy rozkład naprężeni stycznych w ujęciu wielowarstwowym, co ma pozwalać na predykcję profili koncentracji i prędkości osadów. Wyznaczając jednak tzw. parametr efektu ruchomego dna Autor porównuje sumaryczny transport w warstwie kontaktowej i gęstej z transportem obliczonym z empirycznej formuły Meyera-Petera i Müllera. Nie podważam tego sposobu rozumowania, jest to bardzo często stosowany trik w badaniach transportu rumowiska. Natomiast jest to w

sprzeczności z twierdzeniami, że tworzymy opis w pełni teoretyczny, pozbawiony empiryzmu. Przyjęcie równania (21) nie tylko nie jest odejściem od podejścia empirycznego, ale wręcz przyznaniem, że model MPM jest modelem uprzywilejowanym i reprezentuje właściwy opis rzeczywistości. Wbudowujemy zatem ten w pełni empiryczny model w zaproponowany opis, który miałby spełniać rolę uniwersalnego opisu teoretycznego (tak wynika z rozdziału 2.4). Będę wdzięczny za odniesienie się do tego zagadnienia podczas publicznej obrony.

Jestem pod wrażeniem bardzo dobrze opracowanego rozdziału 4.3, dotyczącego wyników obliczeń. Pomijając fakt, że nic nie dowiadujemy się z pracy o sposobie rozwiązywania równań wyjściowych, już sama analiza wyników obliczeń jest bardzo dojrzałym opracowaniem. Prawidłowo przeprowadzone testy czułości modelu wskazują na prawidłowe i logiczne jego zachowanie. Model zweryfikowano w oparciu o dane laboratoryjne z wykorzystaniem opublikowanych danych w 12 niezależnych artykułach. To bardzo solidny materiał weryfikacyjny. Wyniki opublikowano w czołowym czasopiśmie *Jurna of Hydraulic Engineering, ASCE*. Gratuluję bardzo dużej zgodności wyników obliczeń z rozkładami pionowymi naprężeni stycznych pomierzonych w różnych laboratoriach. Jest to dość wrażliwa zmienna i taką zgodność uzyskuje bardzo niewielu autorów. Uzyskano też znakomitą zgodność prędkości i koncentracji osadów. Podobnie zadawalające wyniki uzyskano w odniesieniu do transportu osadów. Zwracam uwagę, że niektóre rysunki wciąż zawierają częściowo angielskie podpisy (np. rys. 23). Zakładam, że obliczenia wykonywał doktorant; współautorami publikacji byli jeszcze obaj promotorzy pracy. Szkoda, że doktorant nie był pierwszym autorem publikacji, Jego rola w uzyskaniu wyników tego rozdziału byłaby bardziej podkreślona.

Kolejny rozdział (rozdział 5) dotyczy transportu rumowiska niejednorodnego granulometrycznie i odnosi się również do założeń przyjętych w rozdziale 4.2.3, gdzie w modelu Kaczmarka przyjęto zmodyfikowany opis naprężeń stycznych. Ponownie w opisie pojawia się, w moim przekonaniu, dość dziwny zapis równań, gdzie nie wiadomo czy zmienna u_{ci} jest funkcją jednej, czy kilku zmiennych. Warto też uzasadnić, dlaczego przyjęto warunki brzegowe w formie przyjętej na str. 62 - skąd przykładowo, bierze się wielkość 0,32 dla początkowej wartości koncentracji.

Bardzo ważnym elementem rozprawy jest rozdział 5.2, w którym Doktorant prezentuje własne pomiary transportu osadów zawieszonych w Wiśle w pobliżu Kwidzyna. Pomiary wykonano w 2003 r., co pokazuje jak długo była przygotowywana dysertacja doktorska. Pomiary, wykonywane w ramach projektu *US-Poland Technology Transfer*

Project były szczegółowo opisane w dwóch publikacjach, których współautorką była jeszcze dr Robakiewicz. Pomiarów były wówczas prowadzone za pomocą najnowocześniejszych technik – w chwili obecnej są dostępne już znacznie nowocześniejsze metody. Niemniej jednak, uzyskano cenny zestaw danych pomiarowych. Prowadzone pomiary służyły weryfikacji amerykańskich modeli CCHE2D oraz CCHE3D, pozwalających - oprócz obliczeń hydrodynamicznych - na obliczenia transportu rumowiska. Mam ten przywilej, że doskonale pamiętam realizację programu US-Poland TTP – koordynowałem ten projekt i wiem, że wyniki uzyskane przez Doktoranta i współautorkę były doskonale przyjęte i ocenione, również przez amerykańskich partnerów. Brakuje mi zatem odniesienia do wyników tamtych obliczeń. Doktorant mógłby porównać zachowanie zmodyfikowanego modelu Kaczmarka i modeli CCHE2D. Będę wdzięczny za komentarz podczas publicznej obrony dotyczący tego zagadnienia. Warto podkreślić, że obliczenia prowadzone modelem Kaczmarka są jakościowo zgodne z uzyskanymi wynikami pomiarów. Wyniki oceniamy jednak na podstawie pewnych porównań „wzrokowych” – w moim przekonaniu, analiza byłaby znacznie bogatsza, gdyby przeprowadzono szczegółowy rachunek błędów.

Rozdział 6 omawia model transportu rumowiska w warunkach przepływu nad lokalnie silnie nachylonym dnem. Zagadnienie ma potencjalnie szerokie spektrum zastosowań, szczególnie w analizach ruchu rumowiska w strumieniach górskich. Model dla takich warunków poddano szczegółowej analizie, co ważne – przeprowadzono weryfikację modelu dla znacznych nachyleń dna w oparciu o badania literaturowe. Analizę zachowania modelu przeprowadzono dla nachyleń dna od -20° do 20° . Weryfikację przeprowadzono na podstawie danych z siedmiu artykułów opublikowanych na przestrzeni lat od 1974 r. do 2014 r. Autor słusznie zwrócił uwagę na trudności pomiarowe w pobliżu dna. Pokonano te trudności w warunkach laboratoryjnych, ale wciąż mamy potężne problemy z pomiarami koncentracji rumowiska w pobliżu dna w warunkach naturalnych. Bardzo podoba mi się sposób opisu wyników przez Doktoranta, chociaż wkradają się określenia nieprecyzyjne. Jak to, że prędkości zbliżają się do zera „w sposób dość asymptotyczny” (str. 87) – co to znaczy? Doktorant w swoich analizach porównuje wyniki z rys. 39 i rys. 40 – dużo wygodniej byłoby, gdyby wyniki umieszczone były na jednym wykresie. Ponadto, porównując wyniki obliczeń z pomierzonymi, dobrze jest stosować obiektywne miary, jak chociażby najprostszy - błąd średniokwadratowy.

Rozdział 7 obejmuje podsumowanie i wnioski. Nie zgłaszam zastrzeżeń do tego rozdziału poza jednym. Wydaje mi się, że sformułowanie, że opracowano wielowarstwowy model transportu osadów jest mocno przesadzone. Możemy jedynie mówić o modyfikacji

istniejącego modelu. Na korzyść Doktoranta przemawia fakt, że uczestniczył w pracach dotyczących różnych etapów konstrukcji i weryfikacji omawianego modelu, współpracując od blisko dwudziestu lat ze swoim promotorem.

Rozdział 8 stanowi wykaz symboli i oznaczeń, a rozdział 9 zawiera obszerny wykaz literatury, obejmujących blisko 120 pozycji. W spisie literatury zdarzają się drobne błędy, np. pomyłona kolejność alfabetyczna, źle zapisane nazwisko (np. powinno być Watanabe, a nie Wanatabe), ale są to naprawdę drobne uchybienia.

Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Sobczaka jest pracą dość specyficzną, bowiem obejmuje wyniki uzyskiwane i gromadzone przez niemal 20 lat. Doktorant jest zaangażowany w wiele przedsięwzięć inżynierskich i zarówno czas jak i doświadczenie inżynierskie pozwoliły Mu przygotować pracę dojrzałą, bardzo dobrze napisaną, ze stosunkowo niewielką liczbą błędów redakcyjnych. Praca ma istotne zalety metodyczne i stanowi oryginalne osiągnięcie Doktoranta w badaniu transportu osadów w korytach rzecznych. Moim zadaniem jako recenzenta, jest ocena czy uzyskane wyniki są wystarczające do nadania stopnia doktora. Wprawdzie Doktorant nie opracował modelu (jak twierdzi określając cele pracy i w podsumowaniu), ale zmodyfikował istniejący model. Jednak doskonale ten model poznał, zweryfikował i wykonał mnóstwo skomplikowanych obliczeń. Biorąc pod uwagę złożoność samego modelu, olbrzymie skomplikowanie tematyki, znakomite interpretacje zachodzących procesów, świetną znajomość i zrozumienie literatury, oraz (co bardzo ważne!) własne wyniki badań eksperymentalnych, jestem przekonany, że warunki do uzyskania stopnia doktora są w tym przypadku spełnione.

Podsumowując, przedstawiona mi do recenzji rozprawa zatytułowana „Dynamika rumowiska niejednorodnego granulometrycznie w warunkach przepływu z ruchomą warstwą nachylonego dna” spełnia warunki określone w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym stawiane pracom doktorskim. W związku z tym wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Łukasza Sobczaka do publicznej obrony recenzowanej rozprawy.



30.05.2022